

一种嵌入可读水印的自适应盲水印算法

张冠男,王树勋,温 泉

(吉林大学通信工程学院,吉林长春 130025)

摘 要: 本文提出了一种基于 DWT 的嵌入可读水印的自适应盲水印算法,通过分析图像经离散小波变换后细节子带系数的特性,把细节子带系数的均值和方差作为水印信息的一部分来自适应地修改图像小波分解后某些细节子带的系数值,在满足水印不可感知性的条件下自适应地嵌入水印信息,实现了水印不可感知性和鲁棒性之间的折衷.同时,水印的提取无须求助于原图像,很好的实现了水印的盲检测.这里的水印是一幅有实际意义的二值图像.实验结果和攻击测试表明,本文提出的算法对 JPEG/JPEG2000 压缩、添加噪声、剪切、像素移位等多种攻击有较强的鲁棒性,同时对直方图均衡化、对比度调整和高斯滤波等图像处理操作也具有一定的抵抗能力.

关键词: 数字水印;离散小波变换;盲检测;可读水印

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 02-0308-05

An Adaptive Blind Watermarking Algorithm to Embed Readable Watermark

ZHANG Guan-nan, WANG Shu-xun, WEN Quan

(Institute of Communication Engineer, Jilin University, Changchun, Jilin 130025, China)

Abstract: We propose an adaptive blind watermarking algorithm to embed readable watermark in the wavelet domain. By analyzing the characteristic of detail subband coefficients of the image after Discrete Wavelet Transform, we use the mean and variance of the detail subbands to modify the wavelet coefficients adaptively, and the embedded watermark is invisible to human eyes and adapted to the original image. This is a blind watermark algorithm to confirm the copyright without the original image and the watermark is a meaningful binary image. The experimental results and attack analysis show that the proposed algorithm is effective and robust to common image processing operations and some geometric attacks, such as JPEG/JPEG2000 lossy compression, additive noise, cropping, pixel-shift, and so on.

Key words: digital watermark; discrete wavelet transform; blind detection; readable watermark

1 引言

随着多媒体技术和网络技术的迅速发展与广泛应用,对多媒体数字产品的版权保护已成为迫切需要解决的问题.传统的加密技术在解决数字产品版权保护方面的局限性,促进了数字水印技术的产生与飞速发展.近几年来数字水印技术作为保护数字产品版权的一种新兴技术,已成为国内外学者研究的热点^[1,2].

现有的图像水印算法基本上可以分为两类:空间域方法和变换域方法.空间域方法通过直接改变图像某些像素的灰度值来加入水印,经典的有 LSB 方法^[3]、patchwork 方法^[4]等,这样的方法往往稳健性不强,后期又有许多改进算法^[5,6],以增强算法的鲁棒性;变换域方法是利用某种变换方法(如 DCT、DWT、DFT 等)将图像变换到频域,通过修改某些特定频域系数的方法来嵌入水印信息,再通过逆变换将其变换回空间域,得到嵌入水印后的图像.绝大多数的水印算法应满足不可感知性和稳健性(即鲁棒性)的要求.水印的不可感知性和鲁棒性之间是相互矛盾的,因为若要提高水印抵抗各种攻击

的能力,必然要增加水印的嵌入强度,这就会引起图像的失真加大,水印的不可感知性降低;反之,若要满足水印的不可感知性,就要减小嵌入强度,这又会降低水印的鲁棒性.因此,在第二代水印^[7]中,人们提出利用基于 HVS 的视觉掩盖技术来自适应的控制水印的嵌入强度,以满足在水印不可感知的条件下最大强度的嵌入水印信息.

水印信息可以是多种形式的数据.随机序列和伪随机序列因其良好的互相关近似为零而自相关有很高峰值的特性而被众多的水印算法选作水印信号,当检测水印时只需将提取出的水印与原始水印做相似度检测即可判定水印的存在与否.但这种方法只能提供水印存在与否的二值判决,不能提供更多的信息量.而在更多的情况下,我们希望将注册的用户号码、产品标识或有意义的文字等可读水印嵌入到图像中.近年来,可读水印的嵌入问题已引起学术界的广泛关注^[8,9].

文献[10]提出了一种自适应水印算法,在嵌入扩频序列水印的过程中利用了小波变换后细节分量系数的均值和方差来修改细节分量的小波系数,达到嵌入水印的目的.我们研究发现这种嵌入算法普遍适用于经某种变换后变换域的系数值

和均值都近似为零的区域,并在水印提取时能够实现水印的盲检测.同时发现图像经小波变换后各细节子带系数大部分集中在零值附近,且均值近似为零;而且当把图像分块后,每一子块细节分量的方差是不同的:纹理和边缘处的方差大,平滑区的方差小.这样可以利用方差作为调制因子自适应的调节水印嵌入强度(在纹理和边缘处嵌入强度大,而平滑处嵌入强度小).将一幅具有实际意义的二值图像嵌入到灰度图像中,实现了在水印不可感知的条件下自适应的嵌入水印信息,一定程度上解决了水印不可感知性与鲁棒性之间的矛盾.

2 图像的小波变换分析

小波分析属于时频分析的一种,小波变换是一种信号的时间-尺度(时间-频率)分析方法,它具有多分辨率分析的特点,在时频两域都具有表征信号局部特性的能力,且具有与HVS屏蔽特性极其相符的变换机制,同时,随着JPEG2000和MPEG4中小波变换的采用并占据重要地位,使得DWT域水印算法具有广阔的前景.

图像经过离散小波变换,可将图像分解成四个子带,水平方向HL、垂直方向LH、对角线方向HH的中高频细节子带和低频逼近子带LL,每个子带的大小为原图的四分之一,低频逼近子带可以再进行分解,图1表示的是一个三层多分辨率分解示意图.分解关系为 $S = LL3 + D3 + D2 + D1$ (1)

其中, $D_i = HLi + LHi + HHi$ $i = 1, 2, 3$.从图1中可以看出多分辨率分析只是对低频空间进行进一步分解,分辨率变得越来越高.对 $512 \times 512 \times 8\text{bits}$ 的“Lena”图做三层小波变换,并按图1所示结构存放其系数,来说明图像经小波变换后各子带系数的特性.表1是各子带系数的统计分析.

表1 小波分解系数统计表

图号	最小值	最大值	均值	方差	能量
LL3	145.9	1656.0	781.4	370.4	781.7
HL3	-505.3	501.8	-3.1	113.4	11.1
LH3	-328.1	379.9	-1.8	61.7	8.1
HH3	-214.8	335.1	-0.1	49.4	7.0
HL2	-241.7	339.0	-0.9	43.2	6.6
LH2	-207.2	234.0	-0.5	26.8	5.2
HH2	-122.0	158.7	0.1	18.6	4.3
HL1	-129.5	163.0	-0.2	16.6	4.1
LH1	-126.0	103.0	-0.1	10.7	3.3
HH1	-64.0	78.5	-0.03	7.1	2.6

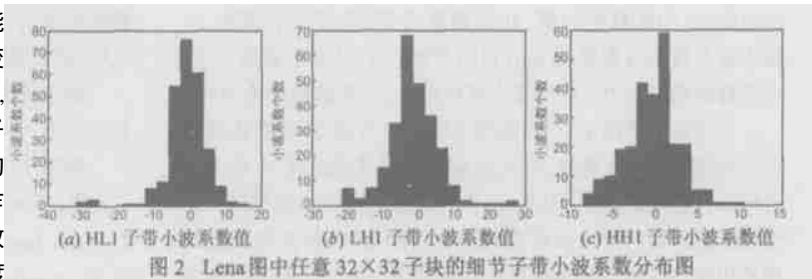


图2 Lena图中任意 32×32 子块的细节子带小波系数分布图

由表1可以看出,低频逼近子带集中了图像的绝大部分能量,是视觉上最重要的部分,虽然很稳定,但改动后对图像的质量影响较大,故在此区域嵌入水印将很难满足水印不可感知性的要求.仔细观察发现细节分量系数的分布呈现一定的规律性,即细节分量各子带的大部分系数集中在零值附近,各子带系数的均值近似为零,而且在第一、第二级小波分解的细节分量中这种特性表现得更为明显.当图像分为 $n \times n$ 的小子块后,每一小子块经小波分解后这种特性也同样具有(见图2所示).同时由于各块对应的区域不同,处于纹理和边缘附近的子块具有更大的方差值,这样我们可以利用各块中的方差值作为水印信息的一部分,来自适应地调节水印嵌入的强度,在满足水印不可感知的前提下最大强度地嵌入水印信息.

3 水印的嵌入与提取

3.1 水印嵌入算法

水印信号生成 将嵌入的二值图像利用行扫描将其映射为一维向量 wm , wm 定义为 $wm = \{wm(i) | wm(i) \in \{0, 1\}, 0 \leq i < p \times q\}$.其中, $p \times q$ 为二值图像大小.

水印信号嵌入 首先,将原始图像 I 分成 $n \times n$ 的子块,利用伪随机数发生器随意选取任意不重合的 m 个子块,其中 m 大小取决于嵌入的可读水印的长度,例如,若嵌入一幅 $p \times q$ 的二值图像,则 $m = p \times q$.这里把伪随机数发生器的“种子”作为密钥,不同的密钥对应着不同的嵌入位置,错误的密钥将不能够正确提取出嵌入的水印信息.

然后,对每一子块进行级小波分解,并计算小波块 S_D 中全部细节分量系数的均值 E_j

$$E_j = \frac{1}{M_{(x,y)} S_D} c_j^{(l,s)}(x,y) \quad (2)$$

其中, $c_j^{(l,s)}(x,y)$ 是第 j 块内小波系数, l 表示小波分解的级数, s 表示各级小波分解的 LH 、 HL 和 HH 三个子带, (x,y) 是小波系数在小波块内的坐标, M 是 S_D 内全部细节分量小波系数的个数.

在水印嵌入时,由一维向量 wm 的值来决定如何修改细节分量的小波系数,具体如下

如果 $wm(j) = 1$,则按式(3)调整 S_D 中的小波系数

$$c_j^{(l,s)}(x,y) = c_j^{(l,s)}(x,y) - E_j \quad (3)$$

如果 $wm(j) = 0$,则按式(4)调整 S_D 中的小波系数

$$c_j^{(l,s)}(x,y) = c_j^{(l,s)}(x,y) - E_j + P \quad (4)$$

其中, $c_j^{(l,s)}(x,y)$ 为修改后的小波系数, E_j 是由(2)式定义的

小波块 S_D 中系数的均值, P 是调制因子. 通过以上调整, 使得小波系数的分布受到 $w_m(j)$ 的调制, “0”对应小波块内 S_D 中系数的均值为 P , “1”对应小波块内 S_D 中系数的均值为 0.

P 作为调制因子, 可以控制水印的嵌入强度. 虽然提高强度会增强水印的鲁棒性, 但图像会产生明显的失真, 水印的不可感知性得不到保证. 因此, 结合人眼视觉特性和图像自身特性来控制水印的嵌入强度是一种有效的方法. 根据图像在纹理和边缘丰富的区域小波变换后系数的方差较大而平滑区方差较小的特性, 采用系数的方差作为调制因子来自适应地控制水印的嵌入强度. 将 P 定义如下

$$P = A + T(j) * B \quad (5)$$

其中, $T(j)$ 定义如下

$$T(j) = \text{texture}(j) = \left[\sqrt{\frac{1}{N(x,y)} \sum_{(x,y) \in S_D} (c_j^{(l,s)}(x,y) - E_j)^2} \right] \quad (6)$$

可以看出, $\text{texture}(j)$ 是第 j 个小波子块中除去近似分量以外的局部方差, 为一常数. 式(5)中, A 、 B 为强度因子, 常数 A 是保证在平滑区, 当 $T(j)$ 接近于 0 时仍能嵌入一定强度的水印. 这样, 式(4)就可完整的表述为

$$c_j^{(l,s)}(x,y) = c_j^{(l,s)}(x,y) - E_j + A + \left[\sqrt{\frac{1}{N(x,y)} \sum_{(x,y) \in S_D} (c_j^{(l,s)}(x,y) - E_j)^2} \right] * B \quad (7)$$

经式(3)和式(7)修改小波系数, 对修改后的小波系数做逆小波变换, 得到 $n \times n$ 大小嵌入水印后的子块, 最后按照嵌入时的顺序将这些子块放回相应的位置, 就得到了嵌入水印后的图像 I_w .

3.2 水印提取算法

利用本文的嵌入算法可以实现水印的盲检测, 具体的检测原理为:

由水印的嵌入过程可知, 对于嵌入 1 和嵌入 0 的区域其细节分量的均值是不同的, 嵌入 1 的区域均值近似为零, 而嵌入 0 的区域均值则近似为 P , 通过调节水印嵌入的强度, 它们之间均值的差异最小也可达到 4 以上 (即 $P > 4$), 这时嵌入水印的图像仍可以保持良好的视觉效果. 水印提取时将受到一定程度损坏的图像 I_w^* 分成同样 $n \times n$ 的子块, 利用在嵌入过程中同样的“种子”得到嵌入水印的子块, 对每一子块做 l 级小波分解后, 利用(8)式计算每一小波块中细节分量系数的总和 Sum^*

$$Sum^* = \sum_{(x,y) \in S_D} \left(c_j^{(l,s)}(x,y) \right) \quad (8)$$

由式(8)计算后可知: 嵌入 1 的小波块 S_D 中细节分量系数的总和 Sum^* 近似为零, 而嵌入 0 的区域则近似为 $M * P$ (这里, M 是 S_D 内小波系数的个数, 即全部细节分量系数的个数). 把 Sum^* 与一个预先指定好的固定阈值 Th 相比较, 若 $Sum^* < Th$, 则 $w_m(j)$ 译为“1”, 否则, $w_m(j)$ 译为“0”.

当恢复出水印序列信息后, 再按照水印构造的逆过程, 得到一幅二值图像.

在水印嵌入和提取时, 产生伪随机位置的“种子”、图像分成各个子块的大小 ($n \times n$)、小波分解的级数、水印提取中判决阈值 Th 都作为密钥来保证水印的安全性, 不知道这些值

意味着攻击者想提取嵌入的水印是不可能的.

3.3 固定阈值 Th 的确定

固定阈值 Th 是通过计算最小错误概率来得到的, 具体分析如下:

根据水印嵌入算法, 假设

$H_0: Sum_j = 0 + n_j$, 当嵌入的比特为 1 时;

$H_1: Sum_j = M * P_j + n_j$, 当嵌入的比特为 0, 细节分量均值为 P_j , $P_j > 0$;

其中, Sum_j 为实际检测到的细节分量系数总和, M 为全部细节分量系数的个数, n_j 是由于某种原因引入的噪声, 这里假设 n_j 服从均值为 0, 方差为 σ^2 的正态分布, 其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \quad (9)$$

比特错误概率可以表示为

$$P_e = P(1|0) * P(0) + P(0|1) * P(1) \quad (10)$$

其中, $P(0)$ 表示“0”比特出现的概率, $P(1|0)$ 表示将“0”错译为“0”的概率; $P(1)$ 表示“1”比特出现的概率, $P(0|1)$ 表示将“1”错译为“0”的概率. 设比特序列中 0 和 1 是等概率分布, 则有

$$P(0) = P(1) = \frac{1}{2} \quad (11)$$

同时 Sum_j 属于 H_0 和 H_1 的概率相等. 那么我们设定判决阈值为, 则条件错误概率可以表示为

$$P(1|0) = \int_{Th}^{+\infty} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (12)$$

$$P(1|0) = \int_{Th}^{+\infty} \exp\left[-\frac{(x - M * P_j)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (13)$$

将式(10)~(13)带入式(9)中, 并对 Th 求导, 即可得一 Th 值, 使得 P_e 最小. 经计算得

$$Th = \frac{1}{2} M * P_j \quad (14)$$

由于 P_j 的值与每一子块的方差有关, 其值有大有小, 在水印检测时为了正确判断水印比特值, 我们选取 P_j 值中最小的一个, 那么判决阈值 $Th = \frac{1}{2} \min(M * P_j)$. 而通常情况下水印所受的攻击并不满足 n_j 服从均值为 0, 方差为 σ^2 的正态分布的条件, 在实际仿真实验中发现当选取的阈值 Th 稍大于 $\frac{1}{2} \min(M * P_j)$ 时, 图像受到各种攻击后检测的效果会更好.

4 实验结果与分析

从实际的仿真实验结果发现, 三级小波分解虽然能提高鲁棒性, 但嵌入水印后的图像会产生明显的失真; 一级小波分解虽然满足不可感知性的要求, 又会使鲁棒性下降. 而使用两级小波分解既能够很好的满足不可感知性的要求, 又能满足水印的鲁棒性, 故选取小波分解级数 $l = 2$. 因为选择不同的小波基对嵌入水印的性能有很大影响, 采纳文献[11]中的建议, 在小波分解中采用比较适合于图像水印嵌入的“haar”小波. 实验中将原始图像分成 8×8 大小的子块, 水印为 20×40

写有“JLU”字样的二值图像。嵌入和提取时使用的参数为: $\alpha = 0.318$, $A = 3$, $B = 1$, $Th = 170$ (这里 A 、 B 的值是经过多幅图像测试后选取的值, 如果嵌入的图像纹理比较集中可适当加大 A 、 B 的值, 反之可减小 A 、 B 的值, 只要满足水印的不可感知性即可, 在水印检测时我们不需要知道这两个值是多少)。实验中采用一系列的 (512 × 512 × 8bits) 图像 (‘Lena’, ‘Plane’, ‘Boat’, ‘Elaine’, ‘Baboon’) 作为测试图像, 来评估水印嵌入的不可感知性、鲁棒性等性能。

(1) 不可感知性 为了评估由于嵌入水印而引起的视觉质量的下降, 采用了主观视觉质量测试和峰值信噪比 (PSNR) 来评价本文提出的水印算法。主观视觉质量测试基于 ITU-R REC. 500^[12], 共分五个等级, 其中“5”代表“不可感知”, “4”代表“可以感知到, 但不感觉讨厌”, “3”代表“感到非常讨厌”。峰值信噪比可以用来评估原始图像与水印图像之间的相似程度。视觉质量测试和峰值信噪比的值列于表 2。从表 2 中可以看出 PSNR 的值很大 (一般在 40 以上), 这表明由于水印的嵌入而引起的图像质量下降很小。视觉质量测试的值一般在 4.5 - 5 之间, 这意味着水印几乎是不可感知的。这也可以从图 3 和图 4 的比较中看出。



表 2 视觉质量测试和峰值信噪比

灰度图像	Lena	Plane	Boat	Elaine	Baboon
视觉质量测试	4.75	4.50	5.00	5.00	5.00
PSNR (dB)	41.3423	40.5594	40.8400	41.3968	40.1515

(2) 鲁棒性 分别对水印图像做 JPEG 压缩、JPEG2000 压缩、添加噪声处理、剪切和像素移位等操作, 可以看出该水印算法对这些攻击具有一定程度的抵抗能力。

JPEG 压缩: JPEG 压缩是当前较为常用的压缩格式, 一般默认的 JPEG 压缩品质因数为 75%, 实验中对加入水印的图像进行 Stirmark 的 JPEG 压缩攻击, 在表 3 中列出了部分检测结果, 仿真结果表明该水印算法对一定程度的 JPEG 压缩具有抵抗能力。

JPEG2000 压缩: JPEG2000 是新一代的静止图像压缩标准, 它是基于小波变换基础上的, 我们也对这种新的压缩标准进行实验。实验中采用 LuraTech 的 LuraWave SmartCompress 来对加入水印的图像进行 JPEG2000 压缩, LuraWave SmartCompress 是 LuraTech 根据 2000 年 3 月份的 JPEG2000 草案编写的 JPEG2000 压缩格式软件。对加入水印的图像压缩比分别在 1:1 至 1:15 的情况下进行 JPEG2000 压缩, 检测结果良好。

剪切实验: 分别将水印图像剪切掉 1/4、2/4、3/4, 从检测结果可以看出, 当把图像重要的 3/4 部分都剪切掉了之后 (图 5, 检测结果见表 3), 仍然可以从恢复出的二值图像中看出

“JLU”字样, 说明该水印算法对于剪切操作具有很强的鲁棒性。

像素移位: 将含水印图像“Lena”分别经水平方向移位 2 像素、4 像素和垂直方向移位 2 像素、4 像素后再提取水印, 提取出的水印图像是清晰可辨的 (实验结果见表 3), 说明对一定程度的移位操作是鲁棒的。

噪声添加: 噪声污染是含水印图像在网络传输过程中经常会遇到的一种攻击。实验中我们分别向嵌入水印的图像中添加均值为 0, 方差逐渐增加的高斯白噪声和噪声浓度不断增加的“椒盐噪声”, 水印检测的误码率显示在图 6 中。

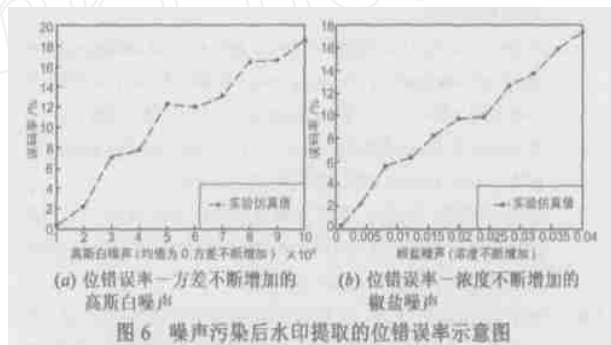


图 6 噪声污染后水印提取的位错误率示意图

图像处理: 对水印图像进行直方图均衡化、对比度调整和高斯滤波 (3 × 3) 后, 嵌入的水印依然能够检测出来。

PSNR 攻击: 对嵌入水印的图像进行 Stirmark 的降低峰值信噪比的攻击, 发现当峰值信噪比从最大 (41.2802) 降低到最小 (20.5346) 时, 检测水印的误差率都为 0, 即能完全正确无误的提取嵌入的水印信息。

对于缩放和几何旋转的攻击, 本文的检测算法失效, 这是因为在这种攻击下每一子块的位置信息会变乱, 影响了水印的正确译出。我们将在下一步的工作中改进我们的算法, 提高水印抵抗同步攻击的能力。

从受到各种攻击的水印图像中提取水印的具体实验结果见表 3。

表 3 水印抵抗各种攻击的实验结果

攻击种类	无攻击	JPEG (90%)	JPEG (80%)	JPEG (70%)	JPEG (60%)	JPEG2000 (压缩比 1:5)	JPEG2000 (压缩比 1:10)	JPEG2000 (压缩比 1:15)
误码率/%	0.00	0.00	0.13	5.37	56.38	0.00	6.75	17.25
提取水印	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU
攻击种类	剪切 1/4 (左上角)	剪切 1/4 (右下角)	剪切 2/4 (左上角)	剪切 3/4 (中角)	水平移位 2 像素	水平移位 4 像素	垂直移位 2 像素	垂直移位 4 像素
误码率/%	6.88	7.25	12.83	14.87	11.13	18.38	8.50	15.00
提取水印	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU
攻击种类	直方图均衡化 (0.2~0.8)	对比度调整 (3X)	高斯滤波 (3X3)	PSNR 100 (20.5346)	PSNR 60 (22.5565)	PSNR 40 (25.1881)	PSNR 30 (28.9487)	PSNR 20 (35.3738)
误码率/%	1.75	2.58	4.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
提取水印	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU	JLU

5 结论

本文提出了一种新的嵌入可读信息的自适应盲水印算法。通过分析图像经离散小波变换后细节子带系数的特性, 把细节子带系数的均值和方差作为水印信息的一部分来自适应地修改图像小波分解后某些细节子带的系数值, 在满足水印不可感知性的条件下最大强度地嵌入水印信息, 实现了水印不可感知性和鲁棒性之间的折衷。仿真结果表明, 本文提出的方法能够较好的满足水印不可感知性的要求, 且可以实现水

印的盲检测,并对噪声污染、JPEG压缩、剪切、像素移位等多种攻击表现出较强的鲁棒性.虽然本文算法对同步攻击的鲁棒性较弱,但对于某些特定的场合还是具有一定的实际意义的.

参考文献:

- [1] C I Bodilbuk, E J Delp. Digital watermarking: algorithms and applications[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2001, 18(4): 33 - 46.
- [2] I J Cox, M Miller. A review of watermarking and importance of perceptual modeling[A]. Proc SPIE Human Vision and Imaging[C]. SPIE-3016, Feb 1997.
- [3] W Lie, L Chang. Data hiding in images with adaptive numbers of least significant bits based on the human visual system[A]. In Proc IEEE Int Conf Images Process[C]. Kobe, Japan: 1999, (10): 286 - 290.
- [4] W Bender, D Gruhl, N Morimoto, A Lu. Techniques for data hiding[J]. IBM Systems Journal, 1996, 35(3 & 4): 313 - 336.
- [5] 孟兵, 万建伟, 周良柱. 图像空域数字水印算法研究[A]. 信息隐藏全国学术研讨会(CIHW2000/2001)论文集[C]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001. 266 - 273.
- [6] 张华熊, 仇佩亮, 孙健. 一种新的空间域图像伪装技术[A]. 信息隐藏全国学术研讨会(CIHW2000/2001)论文集[C]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001. 175 - 179.
- [7] Mohamed S Yasein, Pan Agathoklis. A wavelet-based blind and readable image watermarking algorithm[A]. IEEE, 2002. 1215 - 1219.
- [8] 杨恒伏, 陈孝威. 小波域鲁棒自适应公开水印技术[J]. 软件学报, 2003, 14(9): 1652 - 1660.
- [9] M Kutter, S K Bhattacharjee, T Ebrahimi. Towards second generation watermarking schemes[A]. Proc 6th Int conf on Image Processing ICIP '99[C]. Piscataway: 1999. 320 - 323.
- [10] 魏巍. 扩频技术在数字水印中的应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2003: 38 - 40.
- [11] 刘九芬, 黄达人, 胡军全. 数字水印中的正交小波基[J]. 电子与信息学报, 2003(4): 453 - 459.
- [12] Recommendation ITU-RBT. 500, Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures[S].

作者简介:

张冠男 女, 1980年5月出生于辽宁省鞍山市, 现为吉林大学南岭校区通信工程学院通信与信息系统硕士研究生, 当前主要研究方向为信息安全与数字水印、DSP在数字信号处理中的应用等. E-mail: zhangguannan1980@yahoo.com.cn.

王树勋 男, 1946年生, 1970年毕业于清华大学电机系, 1982年在吉林工业大学电子工程系获工学硕士学位, 现为吉林大学教授、博士生导师, 主要研究方向为高阶统计量在数字信号处理中的应用及微型计算机应用, 已出版著作3部, 发表论文90余篇.